
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2012/2013 Academic Session

January 2013

EMM 331/3 – Solid Mechanics
[Mekanik Pepejal]

Duration : 3 hours
Masa : 3 jam

Please check that this paper contains **EIGHT (8)** printed pages and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **LAPAN (8)** mukasurat bercetak dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

INSTRUCTIONS : Answer **ALL** questions. You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

[ARAHAN : Jawab **SEMUA** soalan. Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.]

Appendix/Lampiran:

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Formulas for Solid Mechanics | [1 page/mukasurat] |
| 2. Crack growth data for Aluminium alloy | [1 page/mukasurat] |

Answer to each question must begin from a new page.
[Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.
[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]

Q1. [a] Provide BRIEF answers to the following statements:

- (i) Explain 'statically indeterminate structures' in terms of the application of principles of virtual work.
- (ii) In a non-symmetrical shaped geometry under loading, explain the benefits of employing Castigliano's theorem for structural integrity assessment.

Berikan jawapan ringkas bagi kenyataan di bawah:

- (i) Terangkan 'struktur tak tertentu statik' dalam aplikasi prinsip kerja maya.
- (ii) Untuk geometri yang tidak-simetri di bawah beban, terangkan kebaikan menggunakan teorem Castigliano bagi asas penilaian integriti struktur.

(30 marks/markah)

[b] A beam having a stiffness EI and GJ , is bent in an L-shape in the horizontal plane as shown in Figure Q1[b]. Determine the deflection under the vertical end load F at point A.

Sebuah rusuk yang mempunyai kekenyalan EI dan GJ , di bengkokkan mengikut bentuk-L pada satah mendatar seperti tertera pada Rajah S1[b]. Tentukan perubahan bentuk pada titik beban menegak F pada titik A.

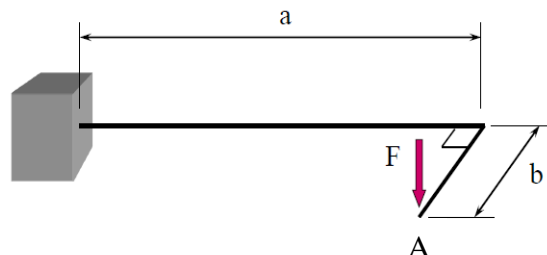


Figure Q1[b]
Rajah S1[b]

(70 marks/markah)

Q2. [a] Limit load is very important in the design of wide range of engineering components and structures. Evaluate the importance of understanding limit load in analysis of structures. Use a typical bending moment diagram for your discussion.

Beban had adalah penting dalam rekabentuk komponen dan struktur kejuruteraan secara meluas. Jelaskan kepentingan beban had pada analisis struktur. Gunakan gambarajah momen lentur dalam perbincangan anda.

(30 marks/markah)

- [b] The flange and web of a T-section as shown in Figure Q2[b] are each 14 mm thick, the flange width is 150 mm and the overall depth is 150 mm. The T-beam is simply supported over a length of 2 m and it is subjected to a point load W at mid span. Calculate the maximum value of W if the beam is to be designed such that yielding is permitted to penetrate the web to a depth of 25 mm. The yield strength of the beam material is 350 MN/m^2 .

Bebibir dan web pada bentuk T adalah 14 mm tebal, lebar bebibir 150 mm dan keseluruhannya berkedalaman 150 mm. Rasuk T itu diimbangi pada jarak 2 m dan dikenakan beban tumpu W pada pertengahan rasuk tersebut. Kirakan nilai maksima W sekiranya rasuk dibenarkan mengalami alahan plastik sehingga jarak 25 mm ke dalam web T. Kekuatan alah bahan rasuk adalah 350 MN/m^2 .

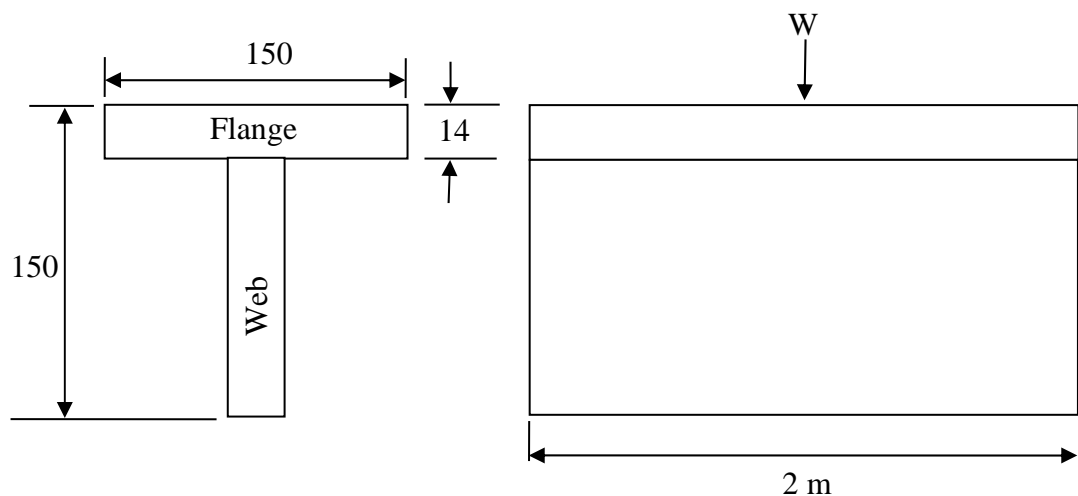


Figure Q2[b]
Rajah S2[b]

(70 marks/markah)

- Q3. [a] Explain the flow analogy based on irrotational fluid flow in stress concentration reduction methods.**

Terangkan analogi aliran berdasarkan aliran bendalir tidak-berputar untuk kaedah pengurangan tegasan tumpu.

(10 marks/markah)

- [b] Propose and discuss stress concentration reduction methods from the loading, P and M for the two geometries shown in Figure Q3[b] using the flow line analogy.

Cadangkan dan bincangkan kaedah pengurangan tegasan tumpu untuk kedua-dua geometri seperti tertera pada Rajah S3[b] menggunakan analogi garis aliran..

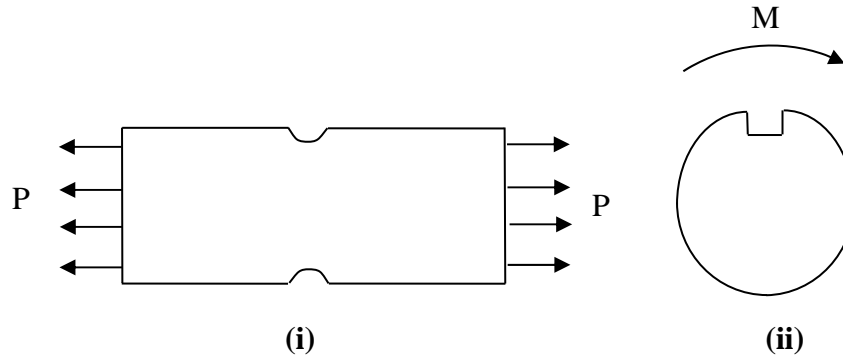


Figure Q3[b]
Rajah S3[b]

(30 marks/markah)

- [c] Propose a nominal stress for a rectangular section under tension as shown in Figure Q3[c] such that the maximum stress due to the U-notches is half the yield stress of the material. The stress concentration factor of the U-notch can be related through:

Cadangkan tegasan nominal untuk suatu keratan segi empat yang dikenakan beban tegasan seperti tertera pada Rajah S3[c] supaya tegasan maksima pada takuk U adalah setengah tegasan alah bahan. Faktor tegasan tumpu takuk U boleh dikaitkan melalui persamaan:

$$K_t = 3.065 - 3.370 \left(\frac{2h}{D} \right) + 0.647 \left(\frac{2h}{D} \right)^2 + 0.658 \left(\frac{2h}{D} \right)^3$$

Use these data to support your deductions: $h = r$, $D = 4h$

data ini untuk membantu pertimbangan anda Gunakan: $h = r$, $D = 4h$

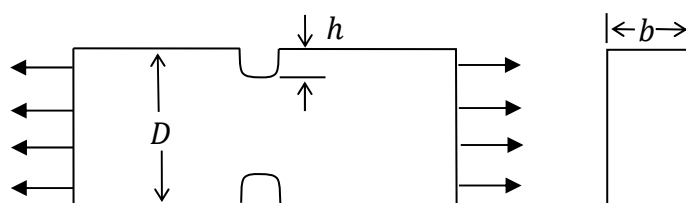


Figure Q3[c]
Rajah S3[c]

(60 marks/markah)

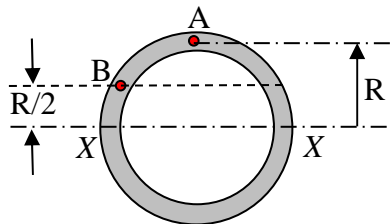
- Q4. [a] A pipe transporting hot fluid has failed due to creep rupture. Develop a suitable relationship to describe creep strain rate and stress using the analogy of non-linear bending problems. State your assumptions clearly.**

Sebatang paip yang memindahkan bendalir panas telah mengalami kegagalan akibat rayapan pecah. Bina satu persamaan untuk mengaitkan kadar terikan rayapan dan tegasan menggunakan analogi lenturan tidak-linear. Nyatakan dengan jelas anggapan yang digunakan.

(50 marks/markah)

- [b] A constant bending moment is applied to a thin polymer tube with a cross section as shown in Figure Q4[b], around the axis XX. If the polymer follows a creep law of the form $d\varepsilon/dt = B\sigma^2$, the material at point A on the tube creeps at four times the rate of the material at point B. Answer TRUE or FALSE. Explain clearly the reasons for your conclusion.**

Suatu momen lenturan malar dikenakan pada tiub polimer nipis yang mempunyai keratan rentas seperti pada Rajah S4[b], pada paksi XX. Jika polimer menuruti hukum rayapan $d\varepsilon/dt = B\sigma^2$, pada kedudukan A, rayapan adalah empat kali ganda daripada kedudukan B. Berikan jawapan BENAR atau SALAH pada kenyataan tersebut. Terangkan dengan jelas alasan untuk kesimpulan yang anda berikan.



**Figure Q4[b]
Rajah S4[b]**

(50 marks/markah)

- Q5. [a] Sudden and widespread fatigue failure of a particular type of ventilation fan is encountered after several years of trouble-free operational experience. The fans normally run for long periods at constant speed.**

Investigation shows that there is a high frequency fatigue loading in normal running but the stress fluctuation is below the level which might cause failure. However, the start-up/shut-down cycles generate stress variations above the threshold level to avoid fatigue damage. Nevertheless, there are very few of these, so this does not of itself explain the problem.

Provide a possible explanation of the failures and indicate what service information you would need to validate the explanation.

Kegagalan lesu pada kipas pengudaraan telah berlaku secara tiba-tiba dan tersebar luas selepas beberapa tahun digunakan tanpa sebarang masalah. Kipas-kipas itu biasanya berfungsi untuk jangka waktu yang lama pada kelajuan malar.

Siasatan yang dijalankan menunjukkan terdapat beban lesu pada frekuensi yang tinggi tetapi turun-naik tegasan adalah di bawah aras tegasan yang boleh menyebabkan kegagalan. Walau bagaimanapun, kitar mula/tutup kipas menghasilkan perubahan tegasan lebih daripada tahap ambang lesu untuk mengelakkan kerosakan lesu. Akan tetapi, ianya sangat sedikit berlaku. Jadi ia tidak menjawab masalah yang berlaku.

Berikan penerangan tentang kegagalan dan tentukan maklumat yang diperlukan untuk mengesahkan jawapan anda.

(40 marks/markah)

- [b] A bracket is welded to a backing plate as shown in Figure Q5[b]. A fluctuating force in the coupling rod causes a stress variation of $\pm 50 \text{ MN/m}^2$ at the weld. Using the crack growth data as given in the Appendix 2, proposed and discuss the maximum size of defect and the orientation with respect to the fluctuating force axis which could be tolerated in the weld.**

Suatu pendakap telah dikimpal kepada plat seperti pada Rajah S5[b]. Daya berubah naik-turun pada aci gandingan menghasilkan perubahan tegasan $\pm 50 \text{ MN/m}^2$ pada bahagian kimpalan. Menggunakan data perambatan retak pada Lampiran 2, cadangkan dan bincangkan saiz kecacatan terbesar dan orientasi merujuk pada paksi daya berubah naik-turun yang dapat ditampung oleh kimpalan tersebut.

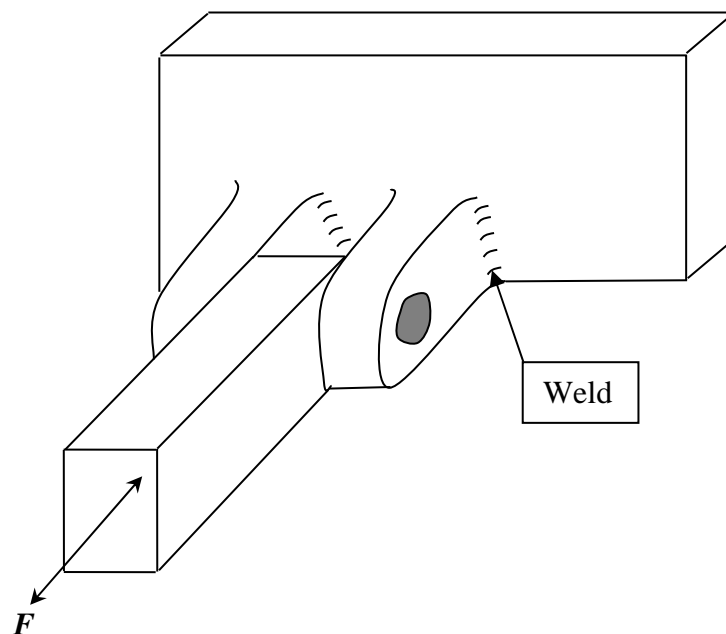


Figure Q5[b]
Rajah S5[b]

(60 marks/markah)

Q6. [a] Spiral fracture surfaces are found on cylindrical drive shafts. The following are the possible causes of the failure:-

- (i) torsional vibration, or**
- (ii) rotating bending-rotating shaft subject to bending moment of a fixed magnitude and direction, or**
- (iii) alternating bending-alternating moment applied to a stationary shaft**

Identify the correct option given and give reasons for your choice.

Keretakan berlingkar telah berlaku pada aci pandu silinder. Berikut adalah antara penyebab berlakunya kegagalan:-

- (i) getaran kilasan, atau*
- (ii) lenturan berputar-aci berputar disebabkan momen lentur pada magnitud dan arah tetap, atau*
- (iii) lenturan selangseli-momen selangseli yang dikenakan pada aci yang berkeadaan tetap.*

Kenalpastikan pilihan yang betul dan berikan alasannya.

(30 marks/markah)

[b] Following the failure of a rocket motor casing during proof testing, it was found that an internal flaw had extended to 4 mm × 1.6 mm. The measured failure stress was 1260 MN/m². The material had been heat treated to a proof strength of 1645 MN/m² and had a K_{Ic} value of 60 MN/m^{3/2}.

Calculate the applied stress necessary to cause failure using the formula for an embedded flaw as:

Lanjutan daripada kegagalan penutup jentera roket semasa ujian bukti, didapati kecacatan dalaman telah membesar kepada 4 mm × 1.6 mm. Tegasan semasa kegagalan berlaku adalah 1260 MN/m². Bahan itu telah dikenakan rawatan haba supaya kekuatannya adalah 1645 MN/m² dan nilai K_{Ic} adalah 60 MN/m^{3/2}.

Kirakan tegasan yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan dengan menggunakan persamaan kecacatan tertanam yang diberikan:

$$\left(\frac{a}{Q}\right)_{cr} = \frac{K_{Ic}^2}{\pi \sigma^2}$$

Assume the ratio (σ/σ_y) to be unity. Table 6[b] can be used in your deductions. Discuss the predicted stress to the observed failure stress.

Andaikan nisbah (σ/σ_y) sebagai satu. Jadual S6[b] boleh digunakan dalam pengiraan anda. Bincangkan tegasan yang diramal kepada keputusan tegasan semasa kegagalan berlaku.

Table Q6[b]
Jadual S6[b]

$\frac{\sigma}{\sigma_y}$	Q for $(a/2c)$ values of				
	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40
1.0	0.88	1.07	1.21	1.38	1.76
0.9	0.91	1.12	1.24	1.41	1.79
0.8	0.95	1.15	1.27	1.45	1.83
0.7	0.98	1.17	1.31	1.48	1.87
0.6	1.02	1.22	1.35	1.52	1.90
<0.6	1.10	1.29	1.43	1.60	1.98

(70 marks/markah)

-00000000-

Formula for Solid Mechanics

Theories of failure

Tresca:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_Y$$

von Mises:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_Y^2$$

Strain Energy

Load category	General Expression for strain energy	Particular case for constant load and geometry	Strain Energy per unit volume
Tension	$\int \frac{F^2}{2AE} dx$	$\frac{F^2 L}{2AE}$	$\frac{\sigma^2}{2E}$
Simple shear	$\int \frac{Q^2}{2AG} dx$	$\frac{Q^2 L}{2AG}$	$\frac{\tau^2}{2G}$
Torsion	$\int \frac{T^2}{2GJ} dx$	$\frac{T^2 L}{2GJ}$	$\frac{\tau_m^2}{4G}$ for circular section
Bending	$\int \frac{M^2}{2EI} dx$	$\frac{M^2 L}{2EI}$	$\frac{\sigma_m^2}{6E}$ for rectangular section

Trigonometric applications

Selected Trigonometric identities	Selected Trigonometric integrals
$\sin^2 \theta = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta)$	$\int \sin x \, dx = -\cos x + c$
$\cos^2 \theta = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\theta)$	$\int \cos x \, dx = \sin x + c$
$\sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$	

Formula for stresses for pressurized systems

Hoop stress:	$\sigma_H = \frac{pr}{t}$	for relatively thin wall vessel
Longitudinal stress:	$\sigma_L = \frac{pr}{2t}$	for relatively thin wall vessel

APPENDIX 2/LAMPIRAN 2

